

**Формирование трехмерного рельефа фазово-поляризационных оптических элементов на поверхности исландского шпата сканированием лазерно-индуцированной микроплазмы**

**Шкуратова В.А.** (Университет ИТМО), **Нестеров Н.А.** (Университет ИТМО), **Костюк Г.К.** (Университет ИТМО), **Петров А.А.** (Университет ИТМО)

**Введение.** На сегодняшний день особое внимание уделяется формированию оптических полей с заданными характеристиками волнового фронта, фазы, распределения интенсивности и состояния поляризации [1, 2]. В частности, к таким полям относятся поляризационно-неоднородные векторные пучки, широко применяемые в различных областях науки и техники [1, 2]. Для таких полей характерно неоднородное распределение вектора поляризации по сечению пучка. Их генерация, в основном, осуществляется с применением интерференционных схем [3], состоящих из множества компонентов, нуждающихся в точной юстировке, пространственных световых модуляторов [4], для которых характерен низкий порог повреждения жидких кристаллов, ограничивающий их применение с высокомоощным лазерным излучением, а также при использовании фазово-поляризационных оптических элементов (ФПОЭ) [5]. Основными достоинствами ФПОЭ и оптических схем их применения является простота их конструкции, юстировки и возможность минимизации компонентов схемы. При этом ФПОЭ должны быть изготовлены на поверхности двулучепреломляющей кристаллической пластины, обеспечивающей возможность преобразования состояния поляризации проходящего лазерного пучка. Однако число известных методов обработки кристаллических материалов существенно ограничено, причем они реализованы в рамках единичных экспериментов [5-7]. Таким образом, существует потребность в применении универсального, управляемого, точного и производительного метода микроструктурирования прозрачных кристаллических материалов для изготовления ФПОЭ.

**Основная часть.** В настоящей работе предлагается для формирования трехмерного рельефа ФПОЭ на поверхности пластины из одноосного кристалла исландского шпата применить технологию структурирования оптически прозрачных материалов лазерно-индуцированной микроплазмой (ЛИМП), возникающей в плоскости плотного контакта мишени из пирографита с высокой плотностью (не ниже  $2.0 \text{ г/см}^3$ ) с низкой неоднородностью плотности по поверхности мишени (не более  $\pm 0.01 \text{ г/см}^3$ ) и обрабатываемой пластины исландского шпата с высоким значением двулучепреломления  $n_o - n_e \sim 0.23 - 0.16$  ( $n_o$  – показатель преломления обыкновенной волны,  $n_e$  – показатель преломления необыкновенной волны) в диапазоне длин волн высокой оптической прозрачности от 400 нм до 1900 нм при сканировании сфокусированного лазерного пучка наносекундного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны  $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$ . Поиск перспективных параметров лазерного воздействия в режиме интенсивного испарения пирографитовой мишени осуществлялся, базирясь на предварительных экспериментальных исследованиях по записи элементарных ячеек на исландском шпате сканированием ЛИМП, а также на оценочном энергетическом расчете. В работе приводятся результаты исследования зависимости глубины травления исландского шпата при выбранных параметрах лазерного излучения от числа импульсов, приходящихся в область воздействия и связанных с коэффициентами перекрытия лазерного пятна по осям  $X$  и  $Y$ , а также с количеством проходов сканирующей системы. Кроме того, в работе показано, что к моменту завершения формирования трехмерного рельефа на исландском шпате, контакт между мишенью и обрабатываемой пластиной сохраняется, так как глубина фокусировки

объектива, используемого в экспериментальной установке, значительно больше толщины зазора между мишенью и обрабатываемой пластиной. Так как наиболее простым в изготовлении методом ЛИМП из известных ФПОЭ является 4-секторная СБФП с обработкой двух из четырех противоположных секторов на заданную глубину, обеспечивающую сдвиг фазы  $\pi$  для конкретной длины волны функционирования, для проверки найденных параметров лазерного излучения для микрообработки поверхности пластин исландского шпата с последующей влажной лазерной очисткой для устранения осевших в ходе записи частиц графита было решено изготовить 4-секторную СБФП диаметром 10 мм с глубиной травления в секторах  $1.60 \pm 0.08$  мкм, отвечающей сдвигу фаз  $\pi$  на длине волны 0.53 мкм, и протестировать ее в схеме с линейно поляризованным излучением и поляризатором.

**Выводы.** Минимальная погрешность глубин травления  $\pm 0.1$  мкм пластин исландского шпата была получена при использовании в качестве мишени пластины пирографита при перемещении сфокусированного в плоскость контакта мишени и обрабатываемой пластины с коэффициентами перекрытия  $K=0.5$ . Для проверки найденных в ходе исследований режимов микрообработки исландского шпата была изготовлена 4-секторная СБФП с глубиной травления в двух противоположных секторах, отвечающей сдвигу фаз  $\pi$  для длины волны 0.53 мкм. Характерный вид распределения интенсивности в вытравленных секторах изготовленной 4-секторной СБФП в ближнем поле и малая толщина трещиноватого слоя на границе раздела обработанных секторов подтверждают правильность выбранных режимов.

- [1] Rubinsztein-Dunlop H. et al. Roadmap on structured light // Journal of Optics. – 2016. – Т. 19. – №. 1. – N. 013001.
- [2] Forbes A., De Oliveira M., Dennis M. R. Structured light // Nature Photonics. – 2021. – Т. 15. – №. 4. – С. 253-262.
- [3] Khonina S. N., Karpeev S. V. Grating-based optical scheme for the universal generation of inhomogeneously polarized laser beams // Applied Optics. – 2010. – Т. 49. – №. 10. – С. 1734-1738.
- [4] Kalita R., Gaffar M., Boruah B. R. The generation of arbitrary vector beams using a division of a wavefront-based setup // Journal of Optics. – 2016. – Т. 18. – №. 7. – N. 075604.
- [5] Карпеев С. В. и др. Четырехсекторный преобразователь поляризации, интегрированный в кристалл кальцита // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42. – №. 3. – С. 401-407.
- [6] Lai W. J. et al. Generation of radially polarized beam with a segmented spiral varying retarder // Optics Express. – 2008. – Т. 16. – №. 20. – С. 15694-15699.
- [7] Wang J. et al. Vector optical field generation based on birefringent phase plate // Optics Express. – 2017. – Т. 25. – №. 11. – С. 12531-12540.